

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高層建築設計風荷重之風洞實驗研究（一）

Wind Tunnel Investigations on the Design Wind Load of High-rise Buildings (1)

計畫編號：NSC 89-2211-E-032-006

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：鄭啟明 淡江大學土木系

一、中文摘要

本文實驗主要探討對相同體積條件下之高層建築，四種不同幾何造型系列，在都市與開闊地形於不同風攻角下所受的風力。造型系列分別為：1. 不同高寬比 2. 不同削角比 3. 不同起始退縮高度比 4. 不同每段退縮寬度。並以一高寬比 5，其長寬高分別為 50 公尺、50 公尺、250 公尺之矩柱為容積率基準，保持所有探討之高層建築體積皆相同。實驗採用力平衡儀法，可同時量測結構物整體所受到的風力，再配合散漫振動及結構動力分析可推算結構物各樓層的設計風載重，並且將實驗結果利用美國科羅拉多州立大學風洞實驗室的評估方法挑選載重組合。最後分別根據各個造型主題，比較模型系列中的差異。

實驗結果顯示，高層建築高寬比的增加，無論在 x, y 向或扭轉向皆極易大幅增加其風載重。建築造型由方形斷面而削角後，主要可大幅降低扭轉向所受的風力，而在 x, y 向上亦可降低橫風向之擾動風力。比較不同起始退縮高度比上，較低的開始退縮高度，其實際建物尺度之基底彎矩則有較大的趨勢。不同之每段退縮寬度系列，本文實驗中得知在 BL1 與 BL2 流場下，較大的每段退縮寬度可有效降低 x, y 向所受的風力。就退縮後的建物高度而言，在相同建物高度下此亦是一有效降低高段樓層風載重之幾何造型。

關鍵詞：高層建築，風力，風洞實驗，幾

何造型，高頻力平衡儀。

Abstract

This paper is to measure the wind forces acting on the models of four different geometric shapes, in both urban flow field and city flow field. The four geometric shapes are square shape models with (1) different height-to-width ratio, (2) different chamfered corner ratio (3) different height to beginning shrinkage ratio, (4) different shrinkage width at each level. The volumes of all prisms are the same as the one with height-to-width ratio of 5. Force balance technique was used to measure the wind force. Combining with the techniques of random vibration analysis, the design wind load at each floor of the target building can be calculated. Based on the selection procedure developed by the wind tunnel laboratory of Colorado State University, several critical load cases were selected for the design purpose.

The experimental results indicate that, high-rise building with higher height-to-width ratio, will increase the lateral and torsional wind load. Chamfering the corner of square cross section of the prism will mainly decrease the torsion force of models. The same effect is showed in the rms acrosswind response. Comparing the experiments of the models with different starting shrinkage ratio, model with lower starting shrinkage ratio will have greater base moment. According to the experiments of the

models with different each level's shrinkage width, in both x and y directions, more shrinkage on each level will decrease the wind load.

Keywords: high-rise building, wind load, wind tunnel test, geometric shape, high frequency force balance.

二、前言

近幾年來臺灣地區隨著經濟的快速發展，大都會中林立了許多高層建築，而其設計朝向高大質輕的方向發展，使得結構物對風的敏感程度大增，所以風力的作用是高層建築設計的重要課題。本文研究即在探討對擁有相同容積率之高層建築，不同幾何造型間對所受風力之影響與比較。

本研究實驗選擇力平衡儀法，此乃將一剛性模型置於一具有高自然振動頻率之力平衡儀上，對模型製作上的要求只需盡量提高其自然頻率，亦不須在表面或內部安排任何管線或裝置，因此十分適合本研究所須製作出造型上的要求。另外可同時量測結構物模型整體所受到的風力，包括基底剪力(base shear)、基底彎矩(base moment)和扭矩(torque)，再配合散漫振動及結構動力學的方法可推算結構物各高度所受到的風力。

三、研究內容與方法

本研究係利用淡江大學大氣邊界層一號風洞實驗室來探討風洞實驗中以力平衡儀法來量測不同幾何造型所受之風力，並且採用美國科羅拉多州立大學風洞實驗室的評估方法，用以評估結構物之設計風載重。本文主要探討四個高層建築之幾何造型主題，分別為 1. 不同高寬比 2. 不同削角比 3. 不同起始退縮高度比 4. 不同每段退縮寬度。並以一高寬比 5，其長寬分別為 50 公尺 50 公尺 250 公尺之建築為容積率基準，保持所有探討之高層建築有相

同之體積。

研究過程與內容包括以下幾個階段：

(一)風洞實驗流場模擬：利用粗糙元素、錐形擾流板和阻牆模擬出平坦地形(BL1， $\alpha=0.15$)與都會地形(BL2， $\alpha=0.32$)兩種流場。

(二)模型製作：依據本文研究主要探討之四個主題分別以 1:400 之縮尺製作模型。

(三)驗證力平衡儀系統在風場之準確性：以 BL1、BL2 二個流場所量得的風力係數、風力頻譜與前人利用壓力量測法得到的結果相比較，驗證系統的準確性。

(四)、實驗結果分析與比較：將實驗結果經分析計算可得到各個風向角下各樓層的設計風載重，再利用美國科羅拉多州立大學風洞實驗室的評估方法選出幾個最嚴重的風向與載重形式。並分別以四個探討主題比較各個模型所受之風力。

四、結果與討論

實驗結果主要分為兩部份作討論。第一部份是將模型置於 BL1、BL2 流場中作量測，藉由實驗量得平均風力係數、擾動風力係數及風力頻譜，先與文獻作比較以驗證量測系統之準確性並根據各主題比較模型系列在兩個流場中之差異。第二部份是將所量測的無因次化風力係數轉換至真實風場與實際建物尺度並將基底彎矩和基底扭矩利用前述理論挑選出嚴重之尖峰載重後分配至建物各樓層。

風力係數為結構物受風力大小的指標，本實驗所量測之主要係數為 x 向平均及擾動風力係數 C_{fx} 及 C'_{fx} ，y 向平均及擾動風力係數 C_{fy} 及 C'_{fy} 與扭力平均及擾動風力係數 C_t 及 C'_t 等。本文中削角系列與退縮系列模型的風力係數在作無因次化時模型長、寬的決定為：(1)削角系列之長、寬仍以未削角之斷面為準。(2)退縮系列則以一高度和受風面積相同之方柱作為無因次的基準。

(一) 不同高寬比系列

平均風力係數: 由圖(5-3)~圖(5-14)可看出在 x 、 y 向, 越大之高寬比在平均風力係數上有越大之趨勢, 尤其在風向角 0 度時有一定之比例, 但在風向角大於 22.5 度後高寬比 5 和高寬比 6 之模型則較為接近。但是就高層建築之尖峰設計載重而言, 經各風向角之載重組合與挑選, 最後順風向結果幾乎由四個直角所控制, 因此仍可由 0 度的風向角得到不同高寬比之趨勢。而扭轉向在風向角 22.5 度和 67.5 度扭矩最大處則未有隨高寬比一定之趨勢, 但高寬比 5 之模型則仍保持相對最小。

擾動風力係數: 在 x 、 y 向, 在風向角為直角時橫風向會有較明顯之趨勢, 尤其在 BL1 流場下從 0 度~67.5 度模型間幾乎相同。但在 BL2 流場, 由於亂流強度較大, 則無此趨勢。另外在扭轉向則發現越大之高寬比容易在風向角為直角時有角大之擾動係數, 因此容易超越 22.5 度和 67.5 度等平均風力係數較大的區域, 而控制最後尖峰載重的選擇。

(二) 不同削角比系列

平均風力係數: 由圖(5-15)~圖(5-30)可看出, 在 BL1 流場下, 隨著削角的增加, 由於完整的受風壓面積逐漸減少, 因此降低了順風向的風力係數, 此趨勢隨著風向角轉向橫風向而漸消失, 至橫風向則皆趨近於 0。而由圖(5-25)~圖(5-30)則發現, 在 BL2 流場下, 以 x 向風力係數為例, 當風向角為 22.5 度時, 隨著削角比例的增加而明顯降低。但是當風向角為 0 度時, 削角比為 1/8 與 2/8 之模型, 風力係數皆以相同之趨勢下降, 而削角比為 4/8 的模型則與其風向角為 22.5 度時的值接近。但削角比為 8/8 的模型, 在此風向角時則反而超越削角比小的模型, 但仍比未削角之基準模型略小。此變化在 y 向上相對的風向角之風力係數亦有相同趨勢。在扭轉向方面, 對每一風向角而言, 與未削角之方形斷面比較可看出, 隨著削角的增大風力係數皆逐

漸降低, 而至正八角形斷面時為最小, 且風力係數隨風向角變化之趨勢亦隨削角的增加而較不明顯。尤其對正八角形柱而言, 因其各面面積相等, 因此在 BL2 流場下, 各風向角下扭轉向平均風力係數幾乎不變。

擾動風力係數: 在 BL1 流場下, 削角 1/8 與 2/8 的模型在橫風向之擾動性上有一反而大於未削角之模型的極值, 此項擾動性的極值亦將會影響在隨後尖峰基底值上的挑選。而在 BL2 流場中, 橫風向風力係數的擾動性則規律地隨著削角的增加而減小。目前尚未查得相關的文獻可供比較或參考此一在 BL1 流場下較為無法理解之現象。但為驗證此現象在本實驗過程下之重複性, 在圖(5-19)~圖(5-22)中附上較詳細之其他風向角與基底彎矩的風力係數。在扭轉向方面, 則有大致上隨著削角的增加, 擾動性亦較低的趨勢, 對正八角形柱而言, 在 BL2 流場之各風向角下幾乎保持一定值。因此對矩形斷面的高層建築而言, 削角無論在平均值與擾動值上, 皆可十分有效地降低扭轉向所受的風力。

(三) 不同起始退縮高度比系列

平均風力係數: 由圖(5-31)~圖(5-42)可看出, x 、 y 向的平均風力係數在各風向角下皆十分接近, 並未因不同起始退縮高度比而有所不同, 但在 BL1 與 BL2 流場下皆略大於未退縮的模型(高寬比 5)。而扭轉向風力係數在各風向角之變化, 皆與前述討論的未退縮之方柱有相同的趨勢, 大致上各模型間的值亦相差不大, 且並未有明顯大小變化趨勢。

擾動風力係數: 在 x 、 y 向而言, 皆在橫風向處規律地呈現隨著起始退縮高度比的降低其擾動性亦逐漸變小的趨勢。此乃因為較低的開始退縮高度比, 在保持與基準模型有相同體積下, 而有較高的模型高度, 並使其低矮段的受風面積亦相對較小, 而大氣邊界層流場之紊流強度特性乃隨高度增加而減少, 因此降低其風力係數之擾動性, 所以未退縮的基準模型(高寬比

5)，在橫風向風力係數之擾動性為最大。

(四) 不同退縮寬度比系列

平均風力係數：由圖(5-43)~圖(5-54)， x 、 y 和扭轉向的平均風力係數在各風向角下皆相差不大，主要因為各模型間整體受風面積相似。對 x 、 y 向來說，風向角從 0 度而漸增下，各模型間之風力係數皆有相同之趨勢，且風力係數值亦相近，最後因斷面之幾何對稱而至橫風向時，風力係數則皆趨近於零。

擾動風力係數：就 x 、 y 向而言，在各模型間有相同起始退縮高度比而每段退縮寬度為不同下，與未退縮之基準模型比較，隨著每段退縮寬度的增加，模型之高度和位在邊界層較高之區域的體積亦增加，因此而使擾動性風力係數降低，此與前一主題之趨勢相符。而扭轉向則除了隨風向角之變化，整體大致與方柱相似外，各模型間之大小並無明顯趨勢。

五、實場建物各樓層風力載重

因本文主要研究幾何形狀對高層建築風載重的影響，因此並無實際建物之詳細結構規劃，為求比較之統一，各模型轉換至實際建物比例經以下之假設：

1. 以 1:400 縮尺比計算實場高層建築。
2. 每一樓層之挑高定為 4.15 公尺，另外總高度除以每層挑高多餘的高度部份則分配至第一層。同樣退縮系列各退縮段高度多餘部份，亦分配至各段之最底層。
3. 各層風力計算參考 Colorado State University 風洞實驗室之計算模式[1,3]。
4. 因高層建築之基本振態幾乎為一直線，因此假設振態均為線性。
5. 各樓層之堆積質量(lump mass)只考慮樓板部份的質量，樓板之質量與極慣性矩則以一般鋼筋混凝土之材料作計算。
6. 阻尼比假設為 0.01，而振動週期則根據工程經驗，以總樓層數除以 10 計算。

各主題之模型系列經分配各樓層載重結果如圖(5-95)~圖(5-98)所示。

不同高寬比模型之各樓層風力分配結果如圖(5-95)，隨著高寬比的增加樓層分配之風載重亦較大。而不同削角比系列結果如圖(5-96)，分配之風力比較上則差異不大；尤其削角至正八邊形斷面之模型就其各樓層高度上與分配的風載重而言是一十分有效降低風載重的高層幾何造型。不同起始退縮高度比系列的樓層風載重如圖(5-97)可看出，與未退縮的基準模型比較，基底未退縮段皆大幅增加。另外，隨著起始退縮高度比的降低，此一增加趨勢亦較大，而就高樓層之分配值上，由於上部退縮段樓板的斷面積較小，因此雖處於大氣邊界層較高風速段，但仍有效降低了所受之風載重。如圖(5-98)所示，不同每段退縮寬度系列中，整體而言，每樓層所受風力隨著退縮寬度增加而變大，而就基底未退縮段部份皆比未退縮之基準模型有較高的風載重，但比較越上部之退縮段，則大幅降低其風載重，且隨著退縮寬度的增加，此降低趨勢則越明顯。因此較大的每段退縮寬度是一有效降低高樓層段樓層風載重的方法。

六、重要參考文獻

- (1) 張嘉文, 1999, "以力平衡儀評估高層建築之設計風載重", 淡江大學土木工程研究所碩士論文。
- (2) 謝雨利, 2000, '幾何造型對高層建築設計風力載重的影響(一)', 淡江大學土木工程研究所碩士論文。
- (3) Wind Tunnel Tests: 31-Story Building, Taipei City, Taiwan ROC, CPP Project 92-0857, April 1993, Prepared by: Daryl W. Boggs, Jon A. Peterka and Jack E. Cermak.

註：由於圖表眾多無法列入精簡報告請依照圖號查閱參考文獻[2]